

Нейронаука в системе профессионального образования

С. Н. Костромина¹, Д. С. Гнедых¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования	Костромина С. Н., Гнедых Д. С. Нейронаука в системе профессионального образования // Профессиональное образование и рынок труда. 2021. № 4. С. 8–29. https://doi.org/10.52944/PORT.2021.47.4.001
For citation:	Kostromina, S. N., & Gnedykh, D. S. (2021). Neuroscience in the system of vocational education. <i>Vocational Education and Labour Market</i> , 4, 8–29. https://doi.org/10.52944/PORT.2021.47.4.001
Поступила / Received	15 октября 2021 г. / October 15, 2021
Copyright	© Костромина С. Н., Гнедых Д. С., 2021

Костромина Светлана Николаевна — доктор психологических наук, профессор, заведующая кафедрой психологии личности Санкт-Петербургского государственного университета, ORCID: 0000-0001-9508-2587, e-mail: s.kostromina@spbu.ru

Гнедых Дарья Сергеевна — кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии образования и педагогики Санкт-Петербургского государственного университета, ORCID: 0000-0003-4955-4779, e-mail: d.gnedyh@spbu.ru

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные проблемы нейрообразования в системе подготовки профессиональных кадров. Цель работы — оценить достижения нейронауки с точки зрения их применения в вузе, в том числе при обучении студентов профессиональной терминологии. В частности, впервые анализируется возможность сформировать профессиональное мышление у обучающихся на основе знаний о закономерностях и механизмах функционирования головного мозга (brain-based learning) при усвоении понятий.

В работе показано, что усвоение и понимание новых слов (терминов) происходит за счет деятельности нейронных систем, которые отвечают за процессы восприятия, внимания, памяти и исполнительных функций, а также за вознаграждение и мотивацию. Кроме того, делается вывод о том, насколько важно в процессе усвоения учитывать специфику профессиональной терминологии — абстрактных и конкретных понятий. Изучение проблематики нейрообразования выявило разницу между направлениями исследований в разных странах: российские специалисты сосредоточились в основном на поиске персонализированных нейротехнологий и внедрении цифровых программ и устройств, разработанных с учетом работы мозга. Иностранные исследователи пытаются создать единую методологию нейрообразования и доказать эффективность методов обучения, основанных на знаниях

о функционировании головного мозга. Авторы статьи считают, что необходимо повышать компетентность преподавателей в области нейробиологии, чтобы профессионально развенчивать нейромифы и усилить эффективность процесса обучения. Данные, приведенные в работе, могут быть полезны преподавателям вузов при организации образовательного процесса.

Ключевые слова: нейрообразование, нейронаука, высшее образование, профессиональное мышление, формирование системы профессиональных понятий, brain-based learning, нейромифы

Neuroscience in the system of vocational education

S. N. Kostromina¹, D. S. Gnedykh¹

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

Svetlana N. Kostromina — Doctor of Science (Psychology), Professor, Head of Personality Psychology Department, St. Petersburg State University, ORCID: 0000-0001-9508-2587, e-mail: s.kostromina@spbu.ru

Daria S. Gnedykh — Candidate of Science (Psychology), Associate Professor at the Psychology of Education and Pedagogy Department, St. Petersburg State University, ORCID: 0000-0003-4955-4779, e-mail: d.gnedyh@spbu.ru

Abstract. The article is dedicated to the relevant issues of neuroeducation in the system of vocational education. The article aims to reflect on the results of neuroscience integration into university practice, including professional terminology teaching. Notably, for the first time the possibility of forming professional thinking among university students based on knowledge about mechanisms of brain functioning during concepts acquisition (brain-based learning) was analyzed.

The article shows that new words (terms) acquisition and understanding is based on neural systems that are responsible for processes of perception, attention, memory and executive functions, as well as reward and motivational states. Moreover, the importance of addressing the specifics of professional terminology, abstract and concrete concepts, during the acquisition process is stated. The difference between research directions in different countries was revealed during the study of neuroeducation: Russian scientists are focused more on personalized neuroeducational technologies and on the development of neurodidactics methods; scientists abroad aim to develop a unified methodology of neuroeducation and find evidence of the efficiency of teaching methods based on knowledge about brain functioning. The authors of the article believe that improving teachers' competence in the field of neurobiology in order to avoid the prevalence of neuromyths and to increase the efficiency of the learning process is important. The data given in the article may be useful to university teachers in organizing the educational process.

Keywords: neuroeducation, neuroscience, higher education, professional thinking, formation of professional concepts system, brain-based learning, neuromyths

Введение

Проблема качества профессионального образования имеет свою историю, в которой интерес к определенным образовательным технологиям существенно зависит, во-первых, от уровня их развития и, во-вторых, от задач, которые общество ставит перед образованием. Так, длительное доминирование академической парадигмы, культивирующей ценность знания, побуждало профессиональное педагогическое сообщество активно насыщать учебный процесс большими объемами информации, для освоения которой необходимо развивать когнитивные способности и формировать теоретическое мышление.

Разрыв между теоретической подготовкой выпускников вузов и их практическими умениями, востребованность на рынке тех молодых специалистов, которые изначально готовы к определенным видам профессиональной деятельности, предопределили смену академической парадигмы на технологическую в 70-х годах XX века (Костромина, 2020). В учебном процессе на первый план вышли методы, которые позволяют овладеть конкретными практическими навыками. Сегодня мы наблюдаем расцвет этого подхода, трансформировавшегося в компетентностный с учетом дискурса, принятого в западной системе образования, и языка, понятного работодателям. Согласно ему подготовка к профессиональной деятельности должна создавать условия для сближения содержания обучения и потребностей общества (сферы деятельности), тем самым сокращая разрыв между теоретической и практической подготовкой и формируя способность и готовность будущего специалиста к решению определенного типа профессиональных задач.

«Освоение» в технологической парадигме (в отличие от «овладения» в академической) подчеркивает ценность действия, техник и приемов, реализующихся в учебном процессе с использованием активных форм обучения. Соответственно, при анализе результатов образования мониторинг качества усвоения знаний уступает место оценке компетенций, контролю за актуальностью и востребованностью в обществе транслируемых технологий, а также за возможностью применить их на практике. Критерий «полезности» компетенции или осваиваемой технологии в значительной степени определяет тип формируемого мышления (технократический) — причем и у тех, кто учится, и у тех, кто учит, — а также используемые методы обучения. Наиболее эффективными среди них становятся те, которые быстро и экономично позволяют добиться заданного образовательного результата. В некоторой степени это объясняет, почему на фоне вроде бы медленной цифровизации образования онлайн-обучение активно распространяется как в академической среде, так и среди тех, кто просто хочет повысить свою компетентность или образовательный уровень за счет предлагаемых в Интернете обучающих программ самой разной направленности.

Использование цифровых устройств и интегрированных цифровых технологий в значительной степени оптимизирует учебный процесс, позволяя контролировать время, место, траекторию, темп учебной деятельности, и удешевляет его, в очередной раз доказывая полезность

технократизма в образовании. На этом фоне нейрообразование (brain-based learning), также призванное улучшить учебный процесс и повысить качество образовательной деятельности, не столь востребовано российским педагогическим сообществом. Эта относительно молодая междисциплинарная область научного знания — точкой отсчета можно считать работу Г. Прайса 1988 года (Куликова, 2014) — объединяет результаты исследований мозга и механизмов его функционирования с целью поиска наиболее эффективных принципов и методов организации учебного процесса (Костромина, 2019). Разрыв между технократизацией образования и слабостью внедрения в образование достижений в исследовании мозга (в отличие, скажем, от конструирования нейросетей или создания алгоритмов искусственного интеллекта) вряд ли можно объяснить отсутствием интереса к ним со стороны педагогического сообщества. *Цель данной статьи* — подвести некоторые итоги развития нейрообразования в России, разобраться в его особенностях и существующих трудностях, препятствующих внедрению достижений нейронауки в педагогическую практику, а также очертить перспективы развития этого направления в сфере подготовки профессиональных кадров.

Нейрообразование — основные направления исследований

Нейрообразование как отдельный подход (Han et al., 2019) предполагает наличие теоретических и методологических оснований, описывающих на разных аналитических уровнях процесс обучения индивида: генетическом, нейронном / физиологическом, когнитивном / поведенческом, феноменологическом (опыт учащегося в самоотчетах) и социокультурном (социокультурный контекст во взаимосвязи с учебным процессом). При этом акцент не делается на каком-то одном, как это часто бывает с нейробиологическим уровнем, с помощью которого первоначально многие ученые пытались объяснить механизмы обучения. Речь идет о комплексном подходе, интеграции знаний из разных наук (Костромина и др., 2015), представляющих равную ценность: только совместный их учет поможет выработать уникальную методологию нейрообразования. В частности, важно не просто изучать психофизиологические и поведенческие аспекты обучения, но и рассматривать их в контексте, то есть в определенных условиях социального взаимодействия в процессе обучения (Mercier, Charland, 2013). Сегодня нейрокогнитивная теория обучения объединяет три самостоятельных направления: 1) нейрофизиологию, фокусирующуюся на биологических основах работы мозга и исследовании нейронных механизмов умственной деятельности, а также нервной активности; 2) когнитивную науку, изучающую закономерности обработки информации и внутреннюю репрезентацию опыта; 3) теорию обучения, описывающую сущность процесса учения, систему отношений «ученик-учитель» и технологии конструирования образовательной деятельности (Anderson, 1999; Костромина, 2019).

Поисковый запрос в отечественной наукометрической базе РИНЦ по ключевому слову «нейрообразование» (дата обращения 10.10.2021) выдает чуть более 30 работ, а по ключевому слову «нейродидактика» —

45 публикаций, значительная часть которых посвящена либо технологической стороне обучения (учет нейрофизиологических особенностей обучающихся, требований к организации учебного процесса, методов нейродидактики), либо предметной (обучение иностранным языкам, развитие речевых навыков и т. д.). При этом первые публикации относятся к 2014–2015 годам. Они обосновывают успешное применение нейродидактического подхода при обучении иностранному языку (Куликова, 2014) и ставят ряд проблем: 1) разрыв между достижениями нейронаук и образовательной практикой; 2) циркулирование нейромифов в педагогическом сообществе; 3) определение места психологии в нейрофизиологических исследованиях, посвященных обучению и развитию (Костромина и др., 2015).

Для сравнения: запрос на тему «цифровое образование» по ресурсу «Российский индекс научного цитирования» в электронной библиотеке e-library выдает более 700 результатов поиска (дата обращения 10.10.2021). Причем если за десять лет с момента появления первых отечественных публикаций (2005 год) можно найти не более двух десятков работ, то начиная с 2015 года (что сопоставимо с публикацией работ по нейрообразованию и нейродидактике) наблюдается взрывной рост публикационной активности. Только за 2020 год по направлению «цифровое образование» опубликовано около 300 научных работ, а за первую половину 2021 года — уже более 150.

Аналогичные запросы по международной базе Web of Science Core Collection формируют публикационный лист из более 150 работ по ключевому слову “Neuroeducation”, первая из которых датируется 1911 годом (Allers, 1911), а следующая — 2000-м: «NeuroBase — a brain atlas-based, multi-platform, multi-dataset-processing neuroimaging system» (Yang et al., 2000). Темпы публикационной активности нарастают: от 2–3 статей в год в начале 2000-х и до 25–30 — в 2019–2021 гг. Большая часть из них посвящена области образования или междисциплинарным проблемам педагогической практики. Исследовательское пространство по ключевому слову «Neurodidactics» не столь обширно (43 публикации с 2006 года), что позволяет сделать вывод о продвижении научного дискурса в сторону нейрообразования как области, максимально раскрывающей проблемы обучения с учетом функциональной активности мозга и нейрофизиологических механизмов умственной деятельности.

На этом, прямо скажем, небогатом отечественном публикационном фоне работ, посвященных нейротехнологиям, значительно больше. Справедливости ради стоит отметить, что и в зарубежных исследованиях наблюдается та же тенденция. Около полутора тысяч исследований с 1990 года в разных направлениях — преимущественно в компьютерном моделировании, биотехнологиях и клинической неврологии — описывают методы, выявляющие биомаркеры разнообразных расстройств и инструменты нейробиоуправления. Будущее нейротехнологий связывается с разработкой цифровых приложений, напрямую считывающих функциональные параметры мозговой активности и улучшающие когнитивные функции здоровых или больных людей через непосредственное влияние неинвазивными методами на мозг (Roelfsema et al., 2018).

Если сопоставить объем публикаций по нейротехнологиям со 150 публикациями в области нейрообразования, то становится очевидной значительно более разработанная теоретическая и методическая база, касающаяся использования технических решений, построенных на принципах работы мозга, в других областях знания, нежели в педагогической практике. Так, в отечественной науке тема нейротехнологий по большей части раскрывается в сочетании с проблематикой искусственного интеллекта, нейромаркетинга, нейросенсорики, кибернетики и управления сложными объектами. Количество таких работ за последние 20 лет составляет сотни (довольно значительная цифра по сравнению с 30-40 публикациями по вопросам нейрообразования и нейродидактики). Представленность нейротехнологий в образовании пока сравнительно мала: можно сказать, ничтожна. Тем не менее при обсуждении перспектив их использования общий дискурс все-таки смещается именно в сторону технологического решения: необходимо разрабатывать и внедрять нейротехнологии в образовательную практику. Например, 6 из 10 отечественных публикаций, размещенных в РИНЦ за 2020–2021 гг., посвящены нейротехнологиям в образовании, в том числе нейронет-технологиям (Козлова, 2020), нейрокоммуникационным технологиям (Ходак, 2020), форсайт-технологиям (Зиннатова, 2021), технологиям персонализации нейрообразовательных результатов (Зеер, Сыманюк, 2021), этическим и правовым вопросам внедрения нейротехнологий в образование (Сандакова, 2020).

Эти публикации описывают перспективы использования нейротехнологий как части цифровых технологий в учебном процессе, их сращивание при разработке современных методов обучения и создание условий для эффективного достижения образовательных результатов. Э. Ф. Зеер напрямую связывает развитие нейрообразования с использованием цифровых технологий в обучении, распространением виртуальных технологий неконтактного взаимодействия обучающихся с «экраным миром», имитирующим реальную действительность (Зеер, 2021). Перспективность их использования в профессиональном образовании определяется тем, что технологии виртуальной реальности, дополненной реальности, иммерсивной реальности, виртуальные интеллект-карты, web-квесты, цифровые двойники (виртуальные прототипы) построены исходя из нашего знания особенностей работы мозга с информацией, обработки временных и пространственных стимулов, спецификации нейрональной организации и взаимодействия структур и отделов головного мозга. Имитационные и моделирующие программы погружают обучающихся в виртуальную среду, создавая ощущение реальности и тем самым формируя профессиональные умения таким образом, как будто их отработка происходит на практике.

Концептуальные и прикладные перспективы использования достижений нейронаук в профессиональном образовании

Несмотря на общую тенденцию, направления исследований в области нейрообразования в России и за рубежом все же отличаются.

Отечественные специалисты сосредоточились на поиске персонализированных нейрообразовательных технологий, способствующих не только успешности учебной деятельности, но и развитию личности обучающегося, стимулирующих саморазвитие и самореализацию (Зеер, Сыманюк, 2021). В частности, к таким нейротехнологиям относят те, которые направлены на формирование у обучающихся *hard skills* и *soft skills*. Это может происходить с помощью виртуальной реальности, иммерсивного обучения, геймификации, интерактивных образовательных траекторий и т. д. Так, например, в экспериментах на основе биологической обратной связи (БОС) было выявлено, что студенты, обучающиеся интерактивными методами, лучше справляются с творческими и мыслительными задачами, чем те, кто обучается традиционными методами (Абабкова, Леонтьева, 2018). В рамках данной концепции нейрообразования говорится о формировании у обучающихся персонализированных нейрокомпетенций (ПНК), основанных «на высших психических функциях мозга и нервной системы, обеспечивающих преадаптацию личности к образованию» (Зеер, Сыманюк, 2021). При этом большие надежды исследователи возлагают на виртуальные технологии и использование электронных девайсов в процессе обучения, предполагая, что они способствуют развитию ПНК (Зеер, 2021). Однако, на наш взгляд, для доказательства данного утверждения требуется большее количество прикладных исследований.

Стоит отметить, что традиционно психолого-педагогические исследования были посвящены изучению изменений в знаниях и поведении, происходящих в течение длительных периодов времени (часов, недель, месяцев и лет). Но данные изменения опосредованы нейронными процессами, происходящими в гораздо более короткие промежутки времени (например, в течение миллисекунды). В связи с этим с недавних пор в процесс обучения стали внедряться методы, которые позволяют учителю получить практически моментальную обратную связь о том, что происходит с познавательной активностью ученика во время занятия. В частности, технология нейроинтерфейсов позволяет считывать активность головного мозга обучающегося в режиме реального времени и предоставлять преподавателю (или интеллектуальной системе) информацию, на основе которой он может адаптировать подачу учебного материала под состояние ученика, помочь ему в нужный момент сосредоточиться или расслабиться, что должно обеспечить более эффективное усвоение учебного материала (Lance et al., 2012). В настоящий момент выделяют следующие перспективные подходы к использованию нейрокомпьютерных интерфейсов в обучении: выявление когнитивных и аффективных состояний учеников при обучении отдельным предметам; мониторинг динамики интенсивности познавательной деятельности учащихся для оптимизации темпа подачи учебного материала; оценка влияния электронных средств обучения на процесс усвоения информации; обучение самоконтролю (Гнедых, 2021).

Движение в сторону технологической парадигмы развития нейрообразования не отменяет, на наш взгляд, необходимости разрабатывать

концептуальные основы этого направления, а главное, не снимает основной проблемы — понимания нейробиологических основ обучения самими преподавателями. Одной из целей нейрообразования является *интеграция знаний* нейронаук в учебный процесс для создания эффективных образовательных технологий. Это направление в России развивается крайне слабо. Между тем работы зарубежных коллег показывают, что после магистерского курса, посвященного нейробиологии обучения и памяти, преподаватели, не имеющие отношения к естественным наукам, изменяют методические подходы к обучению, используя идеи нейробиологии (Schwartz et al., 2019). Понимая как стресс и психологическое травмирование могут негативно сказываться на обучении, педагоги в меньшей степени используют подавляющие и авторитарные способы влияния и оказывают большую социальную и эмоциональную поддержку обучающимся (Brick et al., 2021).

Знание учителями нейроконцепций, раскрывающих принципы нейрональных процессов памяти, эмоций и контекстного обучения, вынуждает по-иному планировать последовательность изложения учебного материала (Chang et al., 2021). G. Harman и A. Çökelez, опросив 72 студента старших курсов факультета естественно-научного образования, выяснили, что будущие учителя признают актуальность *brain-based learning*, но при этом указывают на сложность применения данного подхода в обучении (Harman, Çökelez, 2012). Кроме того, до сих пор довольно остро стоит проблема распространенности нейромифов среди преподавателей школ и высших учебных заведений (Бажанов, Шкурко, 2018), несмотря на убедительные научные данные, доказывающие их несостоятельность. Так, на примере изучения нейрофизиологических механизмов усвоения иностранного языка M. Macedonia признала ошибочным утверждение, что у обучающихся преобладает способ восприятия информации (визуальный, аудиальный, кинестетический) — это один из наиболее популярных нейромифов в образовании (Macedonia, 2015). Среди других заблуждений преподавателей — учет асимметрии головного мозга при обучении (вера в то, что лево- и правополушарные ученики учатся по-разному), мультизадачность (мозг способен решать несколько задач одновременно), наличие сенситивных периодов для развития некоторых когнитивных функций, которые уже нельзя будет сформировать в ином возрасте, и др. (Dekker et al., 2012).

Согласно опросам более 50% учителей не могут распознать нейромифы и считают, что это научно обоснованная информация, которую следует использовать на практике. При этом было замечено, что преподаватели, которые одобряли нейромифы, как правило, были более уверены в своих ответах, чем те, кто идентифицировал их как ложные факты (Hughes et al., 2020). В другом исследовании удалось выявить, что отсутствие у учителей знаний о работе мозга является главным предиктором веры в нейромифы (Idrissi et al., 2020). Однако было установлено, что наличие общих знаний в этой области, а также чтение научно-популярных журналов, не помогает распознавать нейромифы и даже, напротив, иногда укрепляет веру в них (Dekker et al., 2012; Bissessar, Youssef, 2021).

Таким образом, для развития нейрообразования в России необходимо решить ключевой вопрос: каким образом обеспечить внедрение достижений нейронаук (в первую очередь, нейробиологии когнитивной деятельности) в педагогическую практику, как донести до преподавателей фундаментальные знания о работе мозга при обучении, то есть повысить их компетентность в области нейробиологии. С этой целью предлагается включить в учебный план будущих педагогов специализированные курсы, посвященные основам функционирования головного мозга и нервной системы, а также принципам нейрообразования (Amiel, Tan, 2019; Privitera, 2021; Ching et al., 2020). Одновременно возникает вопрос: как поставить нейронауку на службу образованию? Исследования в области нейробиологии ориентированы на получение фундаментальных знаний о работе мозга. Тем не менее важна и обратная связь: необходимо проводить нейрофизиологические исследования, посвященные актуальным проблемам образования (например, усвоению понятий, контекстному научению, преодолению трудностей в изучении различных предметов). Среди наиболее важных направлений исследований в области нейробиологии, результаты которых могут быть полезны сфере образования, можно выделить: изучение когнитивной нагрузки (Antonenko et al., 2010); процесс решения задач (Freeman et al., 2004; Charland et al., 2012); роль эмоций в ситуации обучения (Fulmer, Frijters, 2009) и др. Также немаловажным является поиск доказательств эффективности методов обучения, основанных на знаниях о функционировании головного мозга. Например, исследователи показали, что обучившиеся с помощью такой методики не только более успешны, но и оценивают такое обучение как более запоминающееся и приносящее удовольствие (Tüfekçi, Demirel, 2009; Duman, 2010; Kosar, 2018; Yasar, 2017).

Нейрофизиологические основы формирования профессионального мышления в вузе

Исследование нейрофизиологического базиса овладения речью является одной из ключевых проблем нейрообразования. Язык является основной человеческой способностью и основным инструментом связи мышления и саморегуляции (Выготский, 1999). Это утверждение Л. С. Выготского в полной мере относится и к овладению профессиональным языком, то есть формированию системы профессиональных понятий. Именно понятие, по мнению В. В. Давыдова, должно быть объектом усвоения в учебном процессе, поскольку только в этом случае происходит выделение существенных признаков, составляющих основу понятия, и их обобщение через овладение его смысловыми составляющими (Давыдов, 2000). Профессиональные понятия служат фундаментом для становления профессионального мышления будущих специалистов.

Одной из проблем формирования профессионального мышления является усвоение обучающимися специализированной терминологии, развитие профессиональной системы понятий. Как указывает А. Ю. Жадаев, формирование профессионального мышления у студентов вуза происходит полноценно только при интеграции теоретического

обучения и практики. Данное утверждение соотносится с пониманием механизмов обучения новым понятиям на нейронном уровне: для мозга естественно запоминать слова через получение множественного сенсорного и моторного опыта (Macedonia, 2015), опираться на богатство стимулов, которые сопровождают изучаемый термин (Craik, Tulving, 1975; Engelkamp, Zimmer, 1994). Таким образом, действия, связанные с определенным понятием и производимые индивидом при его изучении, способствуют его закреплению в памяти (Shimojo, Shams, 2001; Shams, Seitz, 2008; Thelen, Murray, 2013). Данные знания легли в основу одного из принципов нейродидактики: разнообразный контекст и условия приобретения нового опыта способствуют активации ассоциативных зон мозга и, следовательно, усвоению информации (Кропотов, 2010; Костромина, 2019).

Проводимые в этой области исследования пытаются ответить на вопрос: как происходит овладение понятиями на основе анализа разных функций мозга (например, через изучение влияния исполнительных функций (ИФ) на понимание новой терминологии)? Внесение изменений в сформированную у индивида систему понятий требуют его пристального внимания, усиленного мониторинга за обработкой информации, рассмотрения различных точек зрения, сличения новой информации с предыдущими знаниями, что указывает на вовлечение компонентов ИФ (рабочей памяти, переключения и торможения) в данный процесс. В частности, чтобы скорректировать уже имеющееся представление о понятии на основе новой информации, необходимы развитые навыки ИФ (Carey et al., 2015). Ингибиторный контроль занимает среди них ведущую позицию в ситуации обучения, когда необходимо «подавление» того, что уже известно обучающемуся, чтобы научиться чему-то новому. Данный механизм был продемонстрирован S. Vosniadou с коллегами на примере формирования системы математических понятий (Vosniadou et al., 2018). Кроме того, было выявлено, что торможение также играет роль в понимании математических категорий, которые выходят за рамки освоения натуральных чисел, в частности при решении задач на пропорции (Stavy et al., 2016).

На примере обучения физике было показано, что рабочая память в значительной степени связана с пониманием обучающимися значения слова «сила», в то время как такой компонент ИФ, как торможение, не показывает значимых взаимосвязей с усвоением данного понятия (Abdullah et al., 2021). Такого рода результаты, с одной стороны, могут помочь преподавателям учитывать роль компонентов исполнительного контроля в построении учебного процесса (в частности, при объяснении того, что такое «сила» как физический концепт), с другой — эти знания указывают на необходимость целенаправленно развивать исполнительные функции у обучающихся, чтобы облегчить в дальнейшем процесс корректировки системы научных понятий.

Помимо исполнительного контроля, усваивать и понимать новые слова помогает взаимодействие систем мозга, связанных с процессами обучения, памяти, внимания, восприятия, а также вознаграждением и мотивационными состояниями (Zeithamova et al., 2019). Таким образом,

в процесс изучения новой терминологии вовлечены различные когнитивные и мотивационные механизмы, которые следует учитывать при организации обучения, направленного на формирование профессиональной системы понятий у студентов.

Поскольку в процессе обучения новой терминологии обучающиеся сталкиваются как с конкретными, так и с абстрактными словами, важно соблюдать баланс между этими двумя типами семантики для формирования целостной профессиональной системы понятий. Так, при знакомстве студентов с описанием поведения человека в конкретных (применительно к индивиду в определенном контексте) или абстрактных (применительно к категории людей в обобщенных контекстах) терминах было выявлено, что их оценки причины данного поведения отличаются. В первом случае описанное поведение казалось больше психологически обоснованным, а во втором, наоборот, указывалось на биологические основания такого поведения (Kim et al., 2017). Авторы данного исследования считают, что преподавателям необходимо обращать внимание обучающихся на связь между конкретными проблемами и их абстрактной логической структурой, чтобы уровень анализа определенной ситуации не ограничивался только лишь одним основанием.

Также важно при обучении языку, в частности профессиональной терминологии, понимать общие принципы усвоения абстрактного и конкретного видов знаний. Например, в ходе исследования было выявлено, что студенты лучше усваивают значения новых конкретных понятий и словоформы — абстрактных. Это указывает на то, что в обработке и запоминании разных типов семантики, вероятно, участвуют различные механизмы, в том числе и на нейронном уровне (Mkrtychian et al., 2021a). Подтверждением сказанного могут служить обнаруженные различия в ЭЭГ (Mkrtychian et al., 2021b) при усвоении конкретной и абстрактной терминологии, которые проявляются на относительно ранних стадиях (в интервале 136–156 мс) и локализуются в правом полушарии. Нейростимуляционные эффекты (Blagovechtchenski et al., 2019) демонстрируют роль процессов консолидации (ночного сна) при овладении новыми понятиями, а также роль зоны Вернике в усвоении абстрактной семантики (Kurmakova et al., 2021). Эти данные позволяют учитывать специфику усвоения абстрактных и конкретных терминов при овладении профессиональными знаниями, что потенциально должно привести к повышению эффективности учебного процесса.

Заключение

Освоение специализированной терминологии помогает не только приобретать профессиональный опыт, но и профессионально расти специалисту в дальнейшем. В связи с этим до сих пор остаются актуальными вопросы формирования и развития терминологической компетентности на разных ступенях профессионального развития (Бордовская, Кошкина, 2016). Проведенный анализ литературы позволяет выявить ряд проблем в области нейрообразования (в частности, касающихся формирования профессионального мышления в вузе):

1. Отечественные публикации по вопросам нейрообразования мало-численны, ограничиваются областью нейротехнологий и их внедрением в образовательную практику — в основном для персонализации учебного процесса через использование цифровых устройств. Зарубежные исследования, помимо изучения эффективности нейротехнологий, активно развивают тематику, связанную с пониманием нейрофизиологических механизмов умственной деятельности в обучении и влиянием функциональной активности мозга на успешность обучения.

2. До сих пор остается актуальной проблема распространения нейромифов среди преподавателей, что порождает неэффективные методы обучения. Продвижение в педагогическую практику научных данных, доказывающих несостоятельность наиболее распространенных утверждений о работе мозга, идет довольно медленно. Для решения проблемы предлагается обучать будущих педагогов основам нейробиологии.

3. Большинство исследований до сих пор сосредоточено на изучении нейрофизиологических механизмов научения языку в раннем возрасте (Kuhl, 2010; Walton et al., 2016; Smits et al., 2014; Kovelman et al., 2012 и др.), расширению системы понятий у взрослых уделяется меньше внимания.

4. Имеющиеся исследования в этой области показывают, что при разработке методики формирования и развития профессиональной системы понятий важно одновременно ориентироваться на целый ряд параметров: развитую у обучающегося систему исполнительных функций; сенсомоторный опыт (контекст, сопровождающий усвоение нового термина); особенности протекания когнитивных процессов (памяти, внимания, восприятия) и мотивацию ученика; ситуацию социального взаимодействия; тип усваемого знания (абстрактное или конкретное).

5. Данные о нейронных коррелятах познавательной деятельности нуждаются в интерпретации также через призму педагогических знаний, позволяющих связать результаты фундаментальных исследований о работе мозга с практикой образования. При этом необходимо проведение дополнительных прикладных исследований, посвященных проверке эффективности внедрения методов brain-based learning в учебный процесс (Howard-Jones et al., 2016). Только после этого можно будет говорить о массовом распространении данных методов в практике преподавания.

Литература

1. Абабкова М. Ю., Леонтьева В. Л. Нейрообразование в контексте нейронауки: возможности и технологии // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения: тр. XIII Всерос. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург: СПбПУ, 2018. Т.13. Ч.1. С.452–459. https://www.researchgate.net/publication/338886044_Nejroobrazovanie_v_kontekste_nejronauki_vozmoznosti_i_tehnologii

2. Бажанов В. А., Шкурко Ю. С. Современная нейронаука и образование: новые аргументы в пользу старых приемов // Педагогика. 2018. № 8. С. 29–37.

3. Бордовская Н. В., Кошкина Е. А. Терминологическая компетентность специалиста: проявление и уровни развития // Человек и образование. 2016. № 3. С. 4–11.
4. Выготский Л. С. Мышление и речь. М.: Лабиринт, 1999. 352 с.
5. Гнедых Д. С. Тенденции и перспективы использования нейрокомпьютерных интерфейсов в образовании // Сибирский психологический журнал. 2021. № 79. С. 108–129. <https://doi.org/10.17223/17267080/79/7>
6. Давыдов В. В. Виды обобщения в обучении. М.: Педагогическое общество России, 2000. 478 с.
7. Жадаев А. Ю. Формирование профессионального мышления у студентов при изучении естественнонаучных дисциплин // Проблемы современного педагогического образования. 2019. № 63–2. С. 163–166.
8. Зеер Э. Ф. Введение в методологию нейрообразования // Виртуальные мастерские — технология умножения профессионально-познавательных возможностей обучающихся СПО: сб. мат. Всерос. науч.-практ. форума, 31 марта 2021 г. Екатеринбург: РГППУ, 2021. С. 6–9.
9. Зеер Э. Ф., Сыманюк Е. В. Формирование персонализированных нейрообразовательных результатов учебной деятельности у обучающихся в профессиональной школе // Изв. Урал. фед. ун-та. Сер. 1. Проблемы образования, науки и культуры. 2021. Т. 27. № 3. С. 124–132. <https://doi.org/10.15826/izv1.2021.27.3.062>
10. Зиннатова М. В. Виртуальные мастерские: иммерсивная технология профессионального образования будущего // Профессиональное образование и рынок труда. 2021. № 2. С. 89–99. <https://doi.org/10.52944/PORT.2021.45.2.007>
11. Козлова А. А. Анализ нейронет-технологий в образовании // Молодежь и научно-технический прогресс: мат-лы рег. науч.-практ. конф. Владивосток: Дальневосточный фед. ун-т, Инженерная школа, 2020. С. 544–548.
12. Костромина С. Н. Аксиология цифрового образования // Психология образования: современный вектор развития / Науч. ред. С. Б. Малых, Т. И. Тихомирова. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. С. 98–119.
13. Костромина С. Н. и др. Нейронаука, психология и образование: проблемы и перспективы междисциплинарных исследований // Психологический журнал. Т. 36. № 4. 2015. С. 61–70.
14. Костромина С. Н. Введение в нейродидактику: учебное пособие. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2019. 182 с.
15. Кропотов Ю. Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия: учебник. Донецк: Издатель Заславский А. Ю., 2010. 512 с.
16. Куликова О. В. Нейродидактический подход как фактор повышения качества обучения иноязычному профессиональному общению // Вестник Московского государственного лингвистического университета. 2014. № 14 (700). С. 107–114.
17. Сандакова Л. Б. О специфике правовых и этических вопросов внедрения нейротехнологий в образование детей // Социальная онтология России: сб. науч. ст. по докладам XIV Всерос. Копыловских чтений / Ред. М. В. Ромм, В. И. Игнатъев, В. Г. Новоселов, Л. Б. Сандакова. Новосибирск: НГТУ, 2020. С. 290–301.

18. Ходак Н. А. Когнитивные процессы в нейрокоммуникационных технологиях: взгляд в будущее // Теоретико-методологические и прикладные науки о человеке и обществе в условиях цифровой трансформации жизни: мат. Межд. науч.-иссл. конф. Челябинск: МИДиС, 2020. С. 153–156.

19. Abdullah M. N. S., Karpudewan M., Tanimale B. M. Executive function of the brain and its influences on understanding of physics concept // Trends in Neuroscience and Education. 2021. Vol. 24. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2021.100159>

20. Allers R. Freud's neuroeducation — Summarized below according to its current Status // Zeitschrift fur psychologie und physiologie der sinnesorgane. 1911. Vol. 59. P. 298–298.

21. Amiel J. J., Tan Y. S. M. Using collaborative action research to resolve practical and philosophical challenges in educational neuroscience // Trends in Neuroscience and Education. 2019. Vol. 16. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2019.100116>

22. Anderson O. R. Neurocognitive bases for constructivism in education // Paper presented at the meeting of the International Conference on inking and education. Ponce; Puerto Rico, 1999. P. 67–79.

23. Antonenko P., Paas F., Grabner R., van Gog T. Using electroencephalography to measure cognitive load // Educational Psychology Review. 2010. Vol. 22. No. 4. P. 425–438. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9130-y>

24. Blagovechtchenski E., Gnedykh D., Kurmakaeva D., Mkrtychian N., Kostromina S., Shtyrov Y. Transcranial direct current stimulation (TDCS) of Wernicke's and Broca's areas in studies of language learning and word acquisition // Journal of Visualized Experiments. 2019. Vol. 149. <https://doi.org/10.3791/59159>

25. Bissessar S., Youssef F. F. A cross-sectional study of neuromyths among teachers in a Caribbean nation // Trends in Neuroscience and Education. 2021. Vol. 23. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2021.100155>

26. Brick K., Cooper J. L., Mason L., Faeflen S., Nonmia J., Dubinsky J. M. Training-of-trainers neuroscience and mental health teacher education in Liberia improves self-reported support for students // Frontiers in Human Neuroscience. 2021. № 15. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.653069>

27. Carey S., Zaitchik D., Bascandzief I. Theories of development: In dialog with Jean Piaget // Developmental Review. 2015. № 38. P. 36–54. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.003>

28. Chang Z., Schwartz M. S., Hinesley V., Dubinsky J. M. Neuroscience concepts changed teachers' views of pedagogy and students // Frontiers in Psychology. 2021. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.685856>

29. Charland P., Allaire-Duquette G., Léger P. M. Collecting neurophysiological data to investigate users' cognitive state during game play // Journal on Computing. 2012. Vol. 2. No. 3. P. 20–24.

30. Ching F. N. Y., So W. W. M., Lo S. K., Wong S. W. H. Preservice teachers' neuroscience literacy and perceptions of neuroscience in education: Implications for teacher education // Trends in Neuroscience and Education. 2020. Vol. 21. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2020.100144>

31. Craik F. I., Tulving E. Depth of processing and the retention of words in episodic memory // *Journal of Experimental Psychology: General*. 1975. № 104. P. 268–294. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.104.3.268>
32. Dekker S., Lee N. C., Howard-Jones P., Jolles J. Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers // *Frontiers in Psychology*. 2012. № 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00429>
33. Duman B. The effects of brain-based learning on the academic achievement of students with different learning styles // *Educational Sciences: Theory and Practice*. 2010. Vol. 10. No. 4. P. 2077–2103. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ919873.pdf>
34. Engelkamp J., Zimmer H. D. Human memory: a multimodal approach. Seattle, WA: Hogrefe and Huber, 1994. 518 p.
35. Freeman F. G., Mikulka P. J., Scerbo M. W., Scott L. An evaluation of an adaptive automation system using a cognitive vigilance task // *Biological Psychology*. 2004. Vol. 67. No. 3. P. 283–297. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.01.002>
36. Fulmer S. M., Frijters J. C. A review of self-report and alternative approaches in the measurement of student motivation // *Educational Psychology Review*. 2009. Vol. 21. No. 3. P. 219–246. <https://doi.org/10.1007/S10648-009-9107-X>
37. Han H., Soylu F., Anchan D. M. Connecting levels of analysis in educational neuroscience: A review of multi-level structure of educational neuroscience with concrete examples // *Trends in Neuroscience and Education*. 2019. Vol. 17. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2019.100113>
38. Harman G., Cokelez A. Fen bilgisi öğretmen adaylarının beyin temelli öğrenme ile ilgili bilgilerinin incelenmesi // *Journal of Turkish Science Education*. 2012. Vol. 9. No. 4. P. 64–83.
39. Howard-Jones P. A., Varma S., Ansari D., Butterworth B., De Smedt B., Goswami U., Laurillard D., Thomas M. S. C. The principles and practices of educational neuroscience: comment on Bowers (2016) // *Psychological Review*. 2016. Vol. 123. No. 5. P. 620–627. <https://doi.org/10.1037/rev0000036>
40. Hughes B., Sullivan K. A., Gilmore L. Why do teachers believe educational neuromyths? // *Trends in Neuroscience and Education*. 2020. Vol. 21. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2020.100145>
41. Idrissi A. J., Alami M., Lamkaddem A., Souirti Z. Brain knowledge and predictors of neuromyths among teachers in Morocco // *Trends in Neuroscience and Education*. 2020. Vol. 20. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2020.100135>
42. Kim N. S., Johnson S. G., Ahn W., Knobe, J. The effect of abstract versus concrete framing on judgments of biological and psychological bases of behaviour // *Cognitive Research: Principles and Implications*. 2017. № 2. <https://doi.org/10.1186/s41235-017-0056-5>
43. Kosar G. Brain-compatible Learning: A medium for improving proficiency in English // *International Journal of Languages Education*. 2018. Vol. 6. No. 2. P. 217–225. <https://doi.org/10.18298/ijlet.2942>
44. Kovelman I., Mascho K., Millott L., Mastic A., Moiseff B., Shalinsky M. H. At the rhythm of language: Brain bases of language-related frequency

perception in children. // *Neuroimage*. 2012. Vol. 60. № 1. P. 673–682. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.12.066>

45. Kuhl P.K. Brain mechanisms in early language acquisition // *Neuron*. 2010. Vol. 67. No. 5. P. 713–727. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.038>

46. Kurmakaeva D., Blagovechtchenski E., Gnedykh D., Mkrtychian N., Kostromina S., Shtyrov Y. Acquisition of concrete and abstract words is modulated by TDCS of Wernicke's area // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. No. 1. P. 1508. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79967-8>

47. Lance B. J., Kerick S. E., Ries A. J., Oie K. S., McDowell K. Brain–Computer interface technologies in the coming decades // *Proceedings of the IEEE. Special centennial issue*. 2012. Vol. 100. P.1585–1599. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2184830>

48. Macedonia M. Learning styles and vocabulary acquisition in second language: how the brain learns // *Frontiers in Psychology*. 2015. № 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01800>

49. Mercier J., Charland P. An agenda for neuroeducation: relating psychophysiological and behavioral data across time scales of learning // *Neuroeducation*. 2013. Vol. 2. No. 1. P. 71–86. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20130201.71>

50. Mkrtychian N., Gnedykh D., Blagovechtchenski E., Tsvetova D., Kostromina S., Shtyrov Y. Contextual acquisition of concrete and abstract words: behavioural and electrophysiological evidence // *Brain Sciences*. 2021a. Vol. 11. No. 7. <https://doi.org/10.3390/brainsci11070898>

51. Mkrtychian N., Kostromina S., Gnedykh D., Kurmakaeva D., Blagovechtchenski E., Shtyrov Y. Psychological and electrophysiological correlates of word learning success // *Psychology in Russia: State of the Art*. 2021b. Vol. 14. No. 2. P. 171–192. <https://doi.org/10.11621/pir.2021.0111>

52. Privitera A.J. A scoping review of research on neuroscience training for teachers // *Trends in Neuroscience and Education*. 2021. Vol. 24. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2021.100157>

53. Roelfsema P., Denys D., Klink P. Mind reading and writing: the future of neurotechnology // *Trends in Cognitive Sciences*. 2018. Vol. 22. No. 7. P. 528–610. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.04.001>

54. Schwartz M. S., Hinesley V., Chang Z., Dubinsky J.M. Neuroscience knowledge enriches pedagogical choices // *Teaching and Teacher Education*. 2019. No. 83. P. 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.04.002>

55. Shams L., Seitz A.R. Benefits of multisensory learning // *Trends in Cognitive Sciences*. 2008. No. 12. P. 411–417. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.006>

56. Shimojo S., Shams L. Sensory modalities are not separate modalities: plasticity and interactions // *Current Opinion in Neurobiology*. 2001. No. 11. P. 505–509. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(00\)00241-5](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(00)00241-5)

57. Stavy R., Babai R., Kallai A.Y. Proportional reasoning: The role of congruity and salience in behavioral and imaging research // *Zeitschrift für Psychologie*. 2016. No. 224. P. 266–276. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000262>

58. Thelen A., Murray M.M. The efficacy of single-trial multisensory memories // *Multisensory research*. 2013. No. 26. P. 483–502. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002426>
59. Tüfekçi S., Demirel M. The effect of brain based learning on achievement, retention, attitude and learning process // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2009. No. 1. P. 1782–1791. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2009.01.316>
60. Vosniadou S., Pnevmatikos D., Makris N. The role of executive function in the construction and employment of scientific and mathematical concepts that require conceptual change learning // *Neuroeducation*. 2018. Vol. 5. No. 2. P. 62–72. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20180502.62>
61. Yang G. L., Guo H. H., Huang S., Padmanabhan R., Nowinski W.L. NeuroBase — a brain atlas-based, multi-platform, multi-dataset-processing neuroimaging system // *Medical Imaging 2000: Image display and visualization*. Proceedings of SPIE. Vol. 3976. P. 77–88. <https://doi.org/10.1117/12.383089>
62. Yasar M.D. Brain based learning in science education in Turkey: descriptive content and meta analysis of dissertations // *Journal of Education and Practice*. 2017. Vol. 8. No. 9. P. 161–168.
63. Zeithamova D., Mack M. L., Braunlich K., Davis T., Seger C., Kesteren M. V., Wutz A. Brain mechanisms of concept learning // *Journal of Neuroscience*. 2019. Vol. 39. No. 42. P. 8259–8266. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1166-19.2019>

References

- Ababkova, M. Y., & Leontieva, V. L. (2018). *Nejroobrazovanie v kontekste nejronauki: vozmozhnosti i tehnologii* [Neuroeducation in the context of neuroscience: possibilities and technologies]. Proceedings of the *Health – the Base of Human Potential: Problems and Ways to Solve Them*, 13(1), 452–455. https://www.researchgate.net/publication/338886044_Nejroobrazovanie_v_kontekste_nejronauki_vozmozhnosti_i_tehnologii (In Russ.)
- Abdullah, M. N. S., Karpudewan, M., & Tanimale, B. M. (2021). Executive function of the brain and its influences on understanding of physics concept. *Trends in Neuroscience and Education*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2021.100159>
- Allers, R. (1911). Freud's neuroeducation – Summarized below according to its current Status. *Zeitschrift fur psychologie und physiologie der sinnesorgane*, 59, 298–298.
- Amiel, J. J., & Tan, Y. S. M. (2019). Using collaborative action research to resolve practical and philosophical challenges in educational neuroscience. *Trends in Neuroscience and Education*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2019.100116>
- Anderson, O. R. (1999). Neurocognitive bases for constructivism in education. *Paper presented at the meeting of the International Conference on Inking and Education* (pp. 67–79). Ponce, Puerto Rico.

- Antonenko, P., Paas, F., Grabner, R., & van Gog, T. (2010). Using electroencephalography to measure cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22 (4), 425–438. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9130-y>
- Blagovechtchenski, E., Gnedykh, D., Kurmakaeva, D., Mkrtychian, N., Kostromina, S., & Shtyrov, Y. (2019). Transcranial direct current stimulation (TDCs) of wernicke's and broca's areas in studies of language learning and word acquisition. *Journal of Visualized Experiments*, 149. <https://doi.org/10.3791/59159>
- Bazhanov, V. A., & Shkurko, Y. U. S. (2018). Modern neuroscience and education: new arguments in favor of old techniques. *Pedagogy*, 8, 29–37. (In Russ.)
- Bissessar, S., & Youssef, F. F. (2021). A cross-sectional study of neuromyths among teachers in a Caribbean nation. *Trends in Neuroscience and Education*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2021.100155>
- Bordovskaya, N. V., & Koshkina, E. A. (2016). Specialist's terminology competence: manifestation and levels of development. *Man and Education*, 3, 4–11. (In Russ.)
- Brick, K., Cooper, J. L., Mason, L., Faeflen, S., Nonmia, J., & Dubinsky, J. M. (2021). Training-of-trainers neuroscience and mental health teacher education in liberia improves self-reported support for students. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.653069>
- Carey, S., Zaitchik, D., & Bascandziev, I. (2015). Theories of development: In dialog with Jean Piaget. *Developmental Review*, 38, 36–54. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.003>
- Chang, Z., Schwartz, M.S, Hinesley, V., & Dubinsky, J.M. (2021). Neuroscience concepts changed teachers' views of pedagogy and students. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.685856>
- Charland, P., Allaire-Duquette, G., & Léger, P. M. (2012). Collecting neurophysiological data to investigate users' cognitive state during game play. *Journal on Computing*, 2 (3), 20–24.
- Ching, F. N.Y., So, W.W.M., Lo, S. K., & Wong, S. W.H. (2020). Preservice teachers' neuroscience literacy and perceptions of neuroscience in education: Implications for teacher education. *Trends in Neuroscience and Education*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2020.100144>
- Craik, F. I., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104, 268–294. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.104.3.268>
- Davydov, V. V. (2000). *Vidy obobshcheniia v obuchenii* [Types of generalization in instruction]. Russian Pedagogical Society. (In Russ.)
- Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., & Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00429>

- Duman, B. (2010). The effects of brain-based learning on the academic achievement of students with different learning styles. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 10 (4), 2077–2103. Retrieved from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ919873.pdf>
- Engelkamp, J., & Zimmer, H. D. (1994). *Human Memory: A Multimodal Approach*. Hogrefe and Huber.
- Freeman, F. G., Mikulka, P. J., Scerbo, M. W., & Scott, L. (2004). An evaluation of an adaptive automation system using a cognitive vigilance task. *Biological Psychology*, 67 (3), 283–297. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.01.002>
- Fulmer, S. M., & Frijters, J. C. (2009). A review of self-report and alternative approaches in the measurement of student motivation. *Educational Psychology Review*, 21 (3), 219–246. <https://doi.org/10.1007/S10648-009-9107-X>
- Gnedych, D. S. (2021). Trends and prospects of using brain-computer interfaces in education. *Siberian Journal of Psychology*, 79, 108–129. <https://doi.org/10.17223/17267080/79/7> (In Russ.)
- Han, H., Soylu, F., & Anchan, D. M. (2019). Connecting levels of analysis in educational neuroscience: A review of multi-level structure of educational neuroscience with concrete examples. *Trends in Neuroscience and Education*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2019.100113>
- Harman, G., & Cokelez, A. (2012). Fen bilgisi öğretmen adaylarının beyin temelli öğrenme ile ilgili bilgilerinin incelenmesi. *Journal of Turkish Science Education*, 9 (4), 64–83.
- Howard-Jones, P. A., Varma, S., Ansari, D., Butterworth, B., De Smedt, B., Goswami, U., Laurillard, D., & Thomas, M. S. C. (2016). The principles and practices of educational neuroscience: comment on Bowers (2016). *Psychological Review*, 123 (5), 620–627, <https://doi.org/10.1037/rev0000036>
- Hughes, B., Sullivan, K. A., & Gilmore, L. (2020). Why do teachers believe educational neuromyths? *Trends in Neuroscience and Education*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2020.100145>
- Idrissi, A. J., Alami, M., Lamkaddem, A., & Souirti, Z. (2020). Brain knowledge and predictors of neuromyths among teachers in Morocco. *Trends in Neuroscience and Education*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2020.100135>
- Khodak, N. A. (2020). Kognitivnye protsessy v neurokommunikatsionnykh tekhnologiiakh: vzgliad v budushchee [Cognitive processes in neurocommunication technologies: a look into the future]. *Proceedings of the international research conference Theoretical, methodological and applied sciences about man and society in the conditions of digital transformation of life* (pp. 153–156). IIDS. (In Russ.)
- Kim, N.S., Johnson, S.G., Ahn, W., & Knobe, J. (2017). The effect of abstract versus concrete framing on judgments of biological and psychologi-

- cal bases of behavior. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2. <https://doi.org/10.1186/s41235-017-0056-5>
- Kosar, G. (2018). Brain-compatible learning: a medium for improving proficiency in English. *International Journal of Languages Education*, 6 (2), 217–225. <https://doi.org/10.18298/ijlet.2942>
- Kostromina, S. N. (2020). Axiology of digital education: back to the future? In S. B. Malykh, T. I. Tikhomirova, & I. A. Ershova (Eds.). *Psychology of education: a modern vector of development* (pp. 98–119). Publishing House of Ural Federal University. (In Russ.)
- Kostromina, S. N., Bordovskaya, N. V., Iskra, N. N., Chuvgunova, O. A., Gneddykh, D. S., & Kurmakaeva, D. M. (2015). Neuroscience, psychology and education: problems and prospects for interdisciplinary studies. *Psychological Journal*, 36 (4), 61–70. (In Russ.)
- Kostromina, S. N. (2019). *Vvedenie v neirodidaktiku: uchebnoe posobie [Introduction to Neurodidactics: a textbook]*. Publishing House of St. Petersburg University. (In Russ.)
- Kovelman, I., Mascho, K., Millott, L., Mastic, A., Moiseff, B., & Shalinsky, M. H. (2012). At the rhythm of language: Brain bases of language-related frequency perception in children. *Neuroimage*, 60 (1), 673–682. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.12.066>
- Kozlova, A. A. (2020). Analiz neironet-tekhnologii v obrazovanii [Analysis of neural network technology in education]. In *Youth and scientific and technological progress* (pp. 544–548). Far Eastern Federal University. Engineering school. (In Russ.)
- Kropotov, Iu. D. (2010). *Kolichestvennaia EEG, kognitivnye vyzvannye potentsialy mozga cheloveka i neiroterapiia: uchebnik [Quantitative EEG, cognitive evoked potentials of the human brain and neurotherapy: textbook]*. Publisher Zaslavskii A. Iu. (In Russ.)
- Kuhl, P. K. (2010). Brain mechanisms in early language acquisition. *Neuron*, 67 (5), 713–27. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.038>
- Kulikova, O. V. (2014). The neurodidactic approach as a factor of quality improvement: teaching professional communication in foreign languages. *Bulletin of the Moscow State Linguistic University*, 14, 107–114. (In Russ.)
- Kurmakaeva, D., Blagovechtchenski, E., Gneddykh, D., Mkrtychian, N., Kostromina, S., & Shtyrov, Y. (2021) Acquisition of concrete and abstract words is modulated by TDCS of Wernicke's area. *Scientific Reports*, 11 (1), 1508. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79967-8>
- Lance, B. J., Kerick, S. E., Ries, A. J., Oie, K. S., & McDowell, K. (2012). Brain–Computer interface technologies in the coming decades. In *Proceedings of the IEEE. Special Centennial Issue*, 100, 1585–1599. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2184830>
- Macedonia, M. (2015). Learning styles and vocabulary acquisition in second

- language: how the brain learns. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01800>
- Mercier, J., & Charland, P. (2013). An agenda for neuroeducation: relating psychophysiological and behavioral data across time scales of learning. *Neuroeducation*, 2 (1), 71–86. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20130201.71>
- Mkrtychian, N., Gnedykh, D., Blagovechtchenski, E., Tsvetova, D., Kostromina, S., & Shtyrov, Y. (2021a). Contextual acquisition of concrete and abstract words: behavioural and electrophysiological evidence. *Brain Sciences*, 11 (7). <https://doi.org/10.3390/brainsci11070898>
- Mkrtychian, N., Kostromina, S., Gnedykh, D., Kurmakaeva, D., Blagovechtchenski E., & Shtyrov, Y. (2021b). Psychological and electrophysiological correlates of word learning success. *Psychology in Russia: State of the Art*, 14 (2), 171–192. <https://doi.org/10.3390/brainsci11070898>
- Privitera, A. J. (2021). A scoping review of research on neuroscience training for teachers. *Trends in Neuroscience and Education*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2021.100157>
- Roelfsema, P., Denys, D. & Klink, P. (2018). Mind reading and writing: the future of neurotechnology. *Trends in Cognitive Sciences*, 22 (7), 528–610. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.04.001>
- Sandakova, L. B. (2020). O spetsifike pravovykh i eticheskikh voprosov vnedreniia neirotekhnologii v obrazovanie detei [On the specifics of legal and ethical issues of the introduction of neurotechnologies in children's education]. In M. V. Romm, V. I. Ignatiev, V. G. Novoselov, L. B. Sandakova (Eds.). *Social ontology of Russia* (pp. 290–301). (In Russ.)
- Schwartz, M. S., Hinesley, V., Chang, Z., & Dubinsky, J. M. (2019). Neuroscience knowledge enriches pedagogical choices. *Teaching and Teacher Education*, 83, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.04.002>
- Shams, L., & Seitz, A. R. (2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 411–417. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.006>
- Shimojo, S., & Shams, L. (2001). Sensory modalities are not separate modalities: plasticity and interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 505–509. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(00\)00241-5](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(00)00241-5)
- Stavy, R., Babai, R., & Kallai, A. Y. (2016). Proportional reasoning: The role of congruity and salience in behavioral and imaging research. *Zeitschrift für Psychologie*, 224, 266–276. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000262>
- Thelen, A., & Murray, M. M. (2013). The efficacy of single-trial multisensory memories. *Multisensory Research*, 26, 483–502. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002426>
- Tüfekçi, S., & Demirel, M. (2009). The effect of brain based learning on achievement, retention, attitude and learning process. *Procedia – So-*

- cial and Behavioral Sciences*, 1, 1782–1791. <https://doi.org/10.1016/j.sb-spro.2009.01.316>
- Vosniadou, S., Pnevmatikos, D., & Makris, N. (2018). The role of executive function in the construction and employment of scientific and mathematical concepts that require conceptual change learning. *Neuroeducation*, 5 (2), 62–72. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20180502.62>
- Vygotskii, L. S. (1999). *Myshlenie i rech'* [Thinking and Speech]. Labyrinth Publishing House. (In Russ.)
- Yang, G. L., Guo, H. H., Huang, S., Padmanabhan, R., & Nowinski, W. L. (2000). NeuroBase – a brain atlas based, multi-platform, multi-dataset-processing neuroimaging system. In *Medical Imaging 2000: Image display and visualization* (pp. 77–88). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.383089>
- Yasar, M. D. (2017). Brain based learning in science education in Turkey: descriptive content and meta analysis of dissertations. *Journal of Education and Practice*, 8 (9), 161–168.
- Zeer, E. F. (2021). Introduction to the methodology of neuro education. In *Virtual workshops – technology for multiplying professional and cognitive capabilities of students of secondary special education* (pp. 6–9). GPPU. (In Russ.)
- Zeer, E. F., & Symanyuk, E. E. (2021). Formation of personalized neuroeducational results of students' educational activities in a professional school. *Izvestia Ural Federal University Journal. Ser. 1. Issues in Education, Science and Culture*, 27 (3), 124–132. <https://doi.org/10.15826/izv1.2021.27.3.062> (In Russ.)
- Zeithamova, D., Mack, M. L., Braunlich, K., Davis, T., Seger, C., Kesteren, M.V., & Wutz, A. (2019). Brain mechanisms of concept learning. *Journal of Neuroscience*, 39 (42), 8259–8266. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1166-19.2019>
- Zhadaev, A. Y. (2019). Formation of professional thinking of students in the study of natural sciences. *Problems of Modern Pedagogical Education*, 63 (2), 163–166. (In Russ.)
- Zinnatova, M. V. (2021). Virtual workshops: immersive technology of vocational education of the future. *Vocational Education and Labour Market*, 2, 89–99. <https://doi.org/10.52944/PORT.2021.45.2.007>